УДК 621.3

Б.М. Стрихалюк[1], Р.С. Колодій[1], М.В. Секела[2]
[1]Національний університет «Львівська політехніка», Україна
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013
[2]Львівський регіональний фтизіопульмологічний клінічний лікувально-діагностичний центр, Україна
вул. Зелена, 477, м. Львів, 79000

КІБЕРФІЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ СТАНУ КАРДІОЛОГІЧНИХ ПАЦІЄНТІВ В СИСТЕМІ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ

B. Stryxaluk[1], R. Kolodij[1], M. Sekela[2],
[1]National University «Lviv Polytechnic», Ukraine
12 Bandera st., Lviv, 79013
[2]Lviv Regional ftyziopulmolohichnyy center, Ukraine
477 Green st, Lviv, 79000

CYBERPHYSICAL TECHNOLOGIES OF MONITORING THE STATUS OF CARDIAC PATIENTS IN THE TELEMEDICINE SYSTEM

Запропоновано вирішення проблеми дистанційного моніторингу кардіологічного стану пацієнтів за допомогою кіберфізичних систем для телемедицини з інтеграцією кібернетичних компонентів у фізичні процеси моніторингу стану хворого, які забезпечують можливість реагування на зміну параметрів стану пацієнта у режимі реального часу з використанням Інтернет-протоколів для прогнозування, самонастроювання і адаптації до змін. Розглянуто напрями досліджень кіберфізичних систем та очікувані наукові результати.
Ключові слова: кіберфізична система, телемедицина, електронна охорона здоров’я. кардіологічні пацієнти, центр оболонки даних, мережева архітектура.

The solution of the problem of remote monitoring for status of patients with cardiac diseases by medical cyber-physical systems integrating cybernetic components into physical processes of patient’s status monitoring is proposed. The systems provide a response on changes on-line in patient's status using the Internet protocols for prediction, self-adjustment and adaptation to changes. The directions of research of cyber-physical systems and the expected scientific results are considered.
Key words: cyber-physical system, telemedicine, electronic health care, patients with cardiac diseases, center of data sheets, network architecture.

Вступ

Серцево-судинні захворювання, безперечно, є поширеними і соціально значущими захворюваннями в усьому світі. У структурі летальності раптова серцева смерть посідає перше місце і становить понад 50% від загального числа смертей внаслідок серцево-судинних причин [8]. При цьому поширеність кардіологічних захворювань, що викликають фатальні порушення ритму, але часто протікають безсимптомно, коливається від 1: 500 до 1: 2500 чоловік; багато з них мають спадковий характер [6]. Усі ці факти свідчать про необхідність застосування надійних діагностичних алгоритмів для спостереження за станом пацієнта.

Застосування технологій моніторування дозволяє стежити за пульсом, частотою дихання, температурою тіла, артеріальним тиском і т.д. Причому в подібних системах моніторування життєдіяльності робиться особливий акцент на можливості якісного і оперативного передавання даних для аналізу в реальному часі, оскільки спостережувані можуть перебувати у віддалених або важкодоступних місцях [2]. Очевидно, що такі технології моніторування затребувані в медичній практиці, особливо при значній географічній віддаленості пацієнта і необхідності частих візитів до лікаря для отримання результатів дослідження. Особливе значення має ЕКГ-моніторування, як

базовий і найбільш інформативний спосіб діагностики багатьох серцево-судинних патологій.

Сучасні технічні можливості дозволяють розробляти і створювати зручні в повсякденному застосуванні пристрої ЕКГ-моніторування з можливістю тривалої безперервної роботи, а також динамічного контролю життєво важливих функцій організму в віддаленому режимі. На сьогодні широко застосовується метод холтерівського моніторингу ЕКГ, пульсу і артеріального тиску. Все більшого поширення набуває підшкірна імплантація електрокардіографа в м'які тканини грудної клітки, тривалість роботи якого може доходити до декількох років [4, 5]. Але використовувані методи мають істотні недоліки: пацієнт повинен стежити за положенням і станом електродів під час моніторингу по Холтеру, постійно носити з собою громіздкий апарат; підшкірна імплантація, яка не потребує носіння будь-яких пристосувань при собі, є хірургічним втручанням, що проводиться в умовах спеціалізованого стаціонару. І, незважаючи на доступність і вельми високу ефективність даних методів діагностики, в ряді клінічних ситуацій необхідні більш досконалі способи спостереження за станом кардіологічного хворого, які повинні забезпечувати динамічну інтерпретацію результатів і задовільну якість життя пацієнта [11, 12].

Одним із варіантів вирішення проблеми дистанційного моніторингу стану кардіологічних пацієнтів є створення кіберфізичних систем телемедицини. Під кіберфізичною системою телемедицини розуміють інтеграцію кібернетичних компонентів у фізичні процеси моніторингу стану хворого, які забезпечують можливість реагування на зміну параметрів стану пацієнта у режимі реального часу. У таких системах ключовими стають завдання синхронізації в часі великої кількості різноманітних електронних пристроїв. Ці системи взаємодіють один з одним за допомогою стандартних інтернет-протоколів для прогнозування, самонастроювання і адаптації до змін.

Створення кіберфізичних систем телемедицини є одним із можливих варіантів eHealth – електронної охорони здоров’я.

Архітектура кіберфізичних систем моніторингу стану кардіологічних пацієнтів

Термін «кіберфізична система» (Cyber Physical System – CPS) вперше був використаний Helen Gill у 2006 р. для означення систем як сукупності комунікаційно-пов'язаних, адресованих віртуальних і реальних компонентів у цифровому метричному кіберпросторі з функціями фізичного моніторингу та хмарного управління в реальному масштабі часу для досягнення поставлених цілей [8].

Кіберпростір – сукупність адресованих і цифрових процесів, що метрично взаємодіють на рівні глобальної телекомунікаційної інфраструктури з функціями моніторингу, обчислення, зберігання, транзакцій і управління цифровими даними.

У загальному методологічному аспекті кіберфізичні системи моніторингу стану кардіологічних пацієнтів розглядається як системний процес безперервного збору даних щодо кардіологічного хворого за певними індикаторними показниками, які забезпечують усіх зацікавлених осіб можливістю реагування на зміну параметрів стану пацієнта у режимі реального часу.

Кіберфізичні системи моніторингу стану кардіологічних пацієнтів за ступенем складності поділяються на:

1) кіберфізичні системи з безперервним контролем стану кардіологічних пацієнтів;

2) кіберфізичні системи з безперервним контролем стану кардіологічних пацієнтів та з інформуванням при виході контрольного параметра за встановлені межі;

3) кіберфізичні системи з безперервним контролем стану кардіологічних пацієнтів та з інформуванням і підказкою рішення/дії;
4) кіберфізичні системи з безперервним контролем стану кардіологічних пацієнтів та з інформуванням, рекомендаціями і проведенням заходів з нормалізації функції організму.

В основу концепції «Архітектура кіберфізичних систем моніторингу стану кардіологічних пацієнтів» покладено наступні основні принципи:

1. *Інтероперабельність* – здатність кіберфізичних систем моніторингу стану кардіологічних пацієнтів (у подальшому кіберфізичних систем) до під'єднання і обміну інформацією за допомогою інтернету речей та інтернету послуг.

2. *Віртуалізація* – створення віртуальної копії стану кардіологічних пацієнтів через об'єднання даних давачів з використанням комунікаційного середовища.

3. *Децентралізація* – здатність кіберфізичних систем до самостійного прийняття рішення про стан пацієнта.

4. *Робота в режимі реального часу* – здатність збирати, зберігати і аналізувати дані в режимі реального часу.

5. *Орієнтація на послуги* – пропозиція послуг за допомогою «Інтернет послуг».

6. *Модульність* – гнучке пристосування до вимог шляхом заміни або розширення окремих модулів.

Практично кіберфізична система моніторингу стану кардіологічних пацієнтів може бути реалізована з використанням площинної моделі (рис.1)

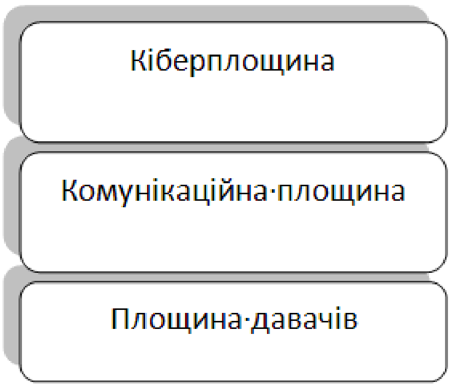


Рис.1. Еталонна модель системи моніторингу стану кардіологічних пацієнтів

Площина давачів (сенсорів). Цю площину утворюють фізичні пристрої та контролери, які можуть керувати декількома пристроями. Елементи площини давачів (сенсорів) – це пристрої, які взаємодіють з фізичними процесами, що зв'язані з функціями організму і можуть здійснювати аналого-цифрове перетворення, генерацію даних, а також підтримувати дистанційне опитування і/або дистанційне керування.

З логічної точки зору, цей рівень реалізує зв'язок пристроїв між собою та забезпечує передавання даних про стан кардіологічних пацієнтів із низькорівневою обробкою даних та інформуванням при виході контрольного параметра за встановлені межі.

Комунікаційна площина. Комунікаційна площина має розподілену архітектуру, складові якої взаємодіють через відкриті інтерфейси. Комунікаційна площина завдяки своїй інфраструктурі, протоколам, технологіям надає можливості для створення, розвинення, масштабування та адміністрування усіх видів інфокомунікаційних послуг для систем телемедицини. Послуги з різними вимогами до ширини смуги частот мають

змогу надаватись у межах можливостей транспортних технологій. Послуги адаптуються постачальниками послуг до вимог користувачів системи телемедицини завдяки інтерфейсам API.

<u>Кіберплощина.</u> Цю площину утворюють DATA-центри телемедицини, у яких відбувається консолідація інформації. У загальному випадку під кіберплощиною розуміють сукупність систем баз даних і знань, побудованих із використанням технологій Big Data, а також інформаційно-телекомунікаційних систем і мереж, що функціонують по встановлених правилах і забезпечують інформаційну взаємодію та доступ користувачів до територіально-розподілених інформаційних ресурсів системи телемедицини.

Структура кіберфізичних систем моніторингу стану кардіологічних пацієнтів

Одним із варіантів кіберфізичних систем моніторингу є мобільні кіберфізичні системи моніторингу (mobile cyber physical system), у яких компоненти системи мають змогу динамічного переміщення на просторі, як правило в межах деякої визначеної території.

Враховуючи широке поширення глобальної мережі Internet та під'єднання до мережі Internet персональних мобільних терміналів (смартфони, iPhones, мобільні планшетні пристрої, ноутбуки з можливістю з'єднання по бездротових мережах і т.д.) з'явились можливості їх використання для передавання даних моніторингу стану кардіологічних пацієнтів. Слід зауважити, що виникає можливість «розумного» з'єднання з вибором каналу передавання даних (Plug & Play, бездротовий зв'язок, сенсорна мережа).

Мобільна кіберфізична система моніторингу стану кардіологічних пацієнтів (рис.2.) повинна також здійснювати «розумну» аналітику, багатовимірний аналіз даних та прогнозування розвитку стану кардіопацієнта.

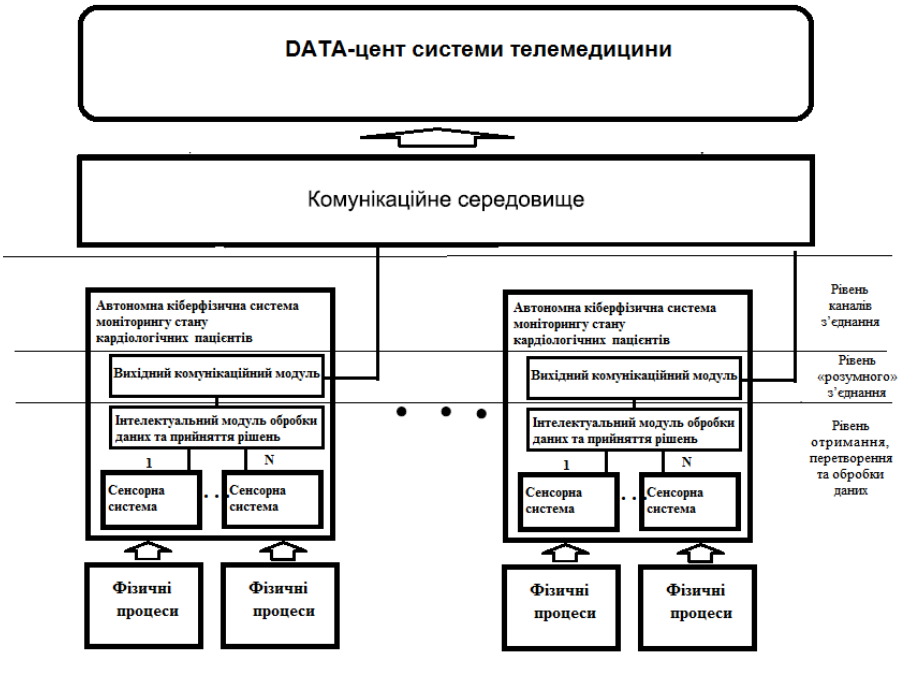


Рис. 2. Узагальнена структура Smart-кіберфізичної системи моніторингу стану кардіологічних пацієнтів

Розподілена обчислювальна система моніторингу стану кардіологічних пацієнтів

Механізми збереження та керування даними моніторингу протягом життєвого циклу системи вимагатимуть застосування складних та потужних технологічних рішень. Тому стратегічний напрямок у запропонованих технічних рішеннях повинен містити рішення щодо розвитку ресурсів мережі збереження даних або SAN (Storage Area Networks). Незважаючи на простоту сервісів IaaS, для деяких систем, зокрема державного значення, варіант розміщення конфіденційних даних у базах сторонніх компаній є непридатним. Це зумовлено підвищеним ризиком втрати або фальсифікації даних моніторингу. Тому, як альтернатива, пропонується реалізація власного обчислювального центру державного значення. Для реалізації системи накопичення інформації розробимо центр обробки даних, який буде систематизувати та опрацьовувати результати моніторингу.

Центр обробки даних є ядром інформаційної інфраструктури і надає можливості ефективної роботи мережевих сервісів, а також виконує функції взаємодії між внутрішньою мережею і зовнішніми інформаційними ресурсами. Використання структури центру оболонки даних (ЦОД) – найбільш правильний спосіб побудови інформаційних систем (ІС) моніторингу стану кардіологічних пацієнтів, він забезпечує централізацію апаратних, програмних і керуючих ресурсів. Порівняно з децентралізованою ІС, центр обробки даних дозволяє понизити ризики втрати даних внаслідок аварій або помилок персоналу. При цьому значно полегшується необхідність забезпечення заходів з інформаційного і фізичного захисту даних. Взаємодія вузлів у центрі обробки даних відбувається через локальну обчислювальну мережу. Планування мережевої архітектури, сегментації і мережевої взаємодії вузлів у мережі є важливою ланкою в процесі проектування ЦОД.

Мережева архітектура визначає топологію і метод доступу до середовища передачі даних, кабельну систему або середовище передачі даних, формат мережевих кадрів, тип кодування сигналів, швидкість передачі. Для організації мережі необхідно вибрати топологію. Під топологією зазвичай розуміється спосіб опису конфігурації мережі, схему розташування і з'єднання мережевих пристроїв (рис.2).

Вершиною дерева є серверний сегмент центру обробки даних, гілки представлятимуть лінії зв'язку до комутаційних вузлів. На рівні одного комутаційного вузла логічна топологія є зіркоподібною. Наступним етапом після визначення мережевої архітектури ЦОД є проектування обчислювальної мережі, планування сегментації і розбиття мережі на підмережі.

Поділ мереж на підмережі виправданий такими обставинами:

Знижується завантаження мережі: трафік буде зосереджений усередині однієї підмережі, розвантажуючи таким чином решту всієї мережі.

З міркувань безпеки необхідно врахувати, що трафік у мережі загального користування може бути незахищеним, тому організація підмереж забезпечує спосіб, що дозволяє оберігати мережевий сегмент від «прослуховування» з іншого довільного сегмента.

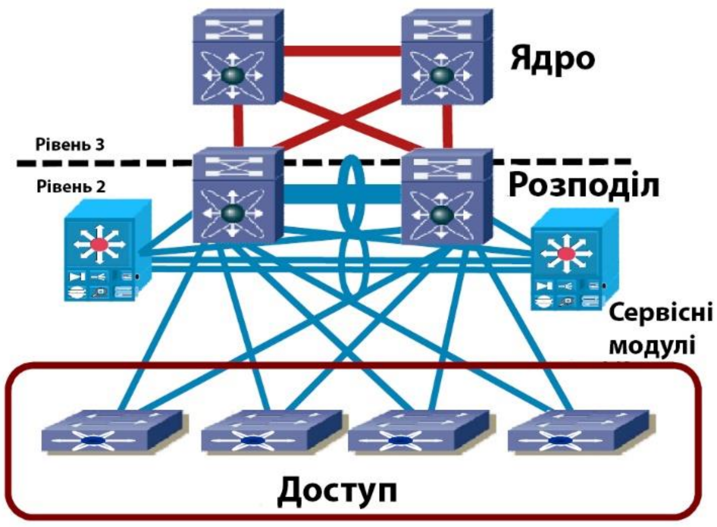


Рис. 2. Архітектура обчислювального центру системи моніторингу

Поділ на підмережі зазвичай виконують відповідно до фізичного розташування мережевих вузлів. Ділення треба виконати на рівні організаційного призначення вузлів, а саме – сегментувати мережу на рівні зон моніторингу. Більш того, слід зазначити, що система динамічно розвивається і можливе її розширення, а також збільшення кількості датчиків (наприклад ЕКГ). Тому необхідно розбудувати розподілену систему обчислювальних центрів та забезпечити її належне функціонування. Взаємодія між обчислювальними центрами в системі моніторингу показана на рис. 3.

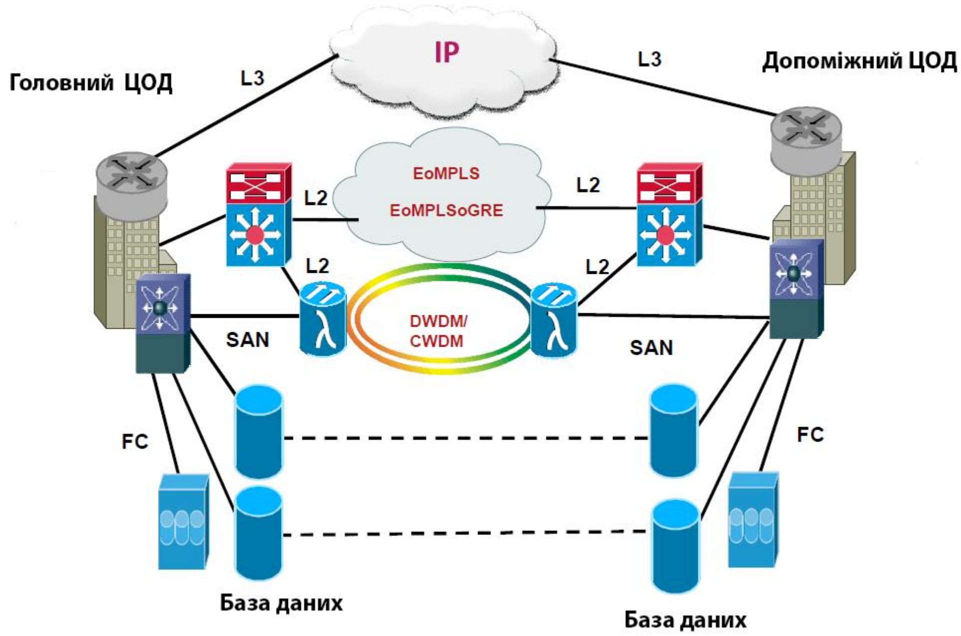


Рис. 3. Взаємодія між обчислювальними центрами в системі моніторингу

Висновки

Запропоновано архітектуру кіберфізичних систем моніторингу стану кардіологічних пацієнтів, яка враховує динамічність пацієнтів. На основі еталонної моделі системи моніторингу стану кардіологічних пацієнтів розроблено розподілену обчислювальну систему.

Література

1. Chi Y.M., Cauwenberghs G. Wireless non-contact ECG and EEG for unobtrusive cardiac and brain monitoring. 2011. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.isn.ucsd.edu/courses/beng186b/lectures/mike-guest-lecture-beng186.pdf.
2. Estes N.A. 3rd. Predicting and preventing suddencardiacdeath // Circulation. – 2011. – Vol. 124, № 5. – P. 651–656.
3. Hu S., Wei H., Chen Y., Tan J. A Real-Time Cardiac Arrhythmia Classification System with Wearable Sensor Networks // Sensors (Basel). – 2012. – Vol. 12, № 9. – P. 12844– 12869.
4. Klasnja P., Pratt W. Healthcare in the Pocket: Mapping the Space of Mobile-Phone Health Interventions // J Biomed Inform. – 2012. – Vol. 45, № 1. – P. 184–198.
5. Long-Term Recording of Cardiac Arrhythmias With an Implantable Cardiac Monitor in Patients With Reduced Ejection Fraction After Acute Myocardial Infarction. The Cardiac Arrhythmias and Risk Stratification After Acute Myocardial Infarction (CARISMA) StudyGroup // Circulation. – 2010. –№ 122. – P. 1258–1264.
6. Rosenberg M.A., Samuel M., Thosani A., Zimetbaum P.J. Use of a Noninvasive Continuous Monitoring Device in the Management of Atrial Fibrillation: A Pilot Study //Pacing and Clinical Electrophysiology. 13.12.2012. – URL: http:// onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pace.12053/pdf.
7. Wootton R. Twenty years of telemedicine in chronic disease management – an evidence synthesis // J. Telemed. Telecare. – 2012. – Vol. 18, № 4. – P. 211–220.
8. Gill H. National Science Foundation NSF, Perspective and Status On Cyber-Physical Systems // National Workshop on Cyber-Physical Systems. – 2006.

RESUME

B. Stryxaluk, R. Kolodij, M. Sekela

Cyberphysical technologies of monitoring the status of cardiac patients in the telemedicine system

The solution of the problem of remote monitoring for status of patients with cardiac diseases by medical cyber-physical systems integrating cybernetic components into physical processes of patient’s status monitoring is proposed. The systems provide a response on changes on-line in patient's status using the Internet protocols for prediction, self-adjustment and adaptation to changes. It is assumed that the cyber-physical system of telemedicine will provide high efficiency of planning and implementation of complex measures to study the patient's status and will enable virtual medical consultation of a patient and will help to prevent its critical condition. Expansion of the global Internet network and connection to the Internet of personal mobile terminals provides the possibilities to using them for the transmission of monitoring data of status of patients with cardiac diseases. It should be noted that there is a possibility of intelligent connection with the choice of data transmission channel. The mobile cyber-physical monitoring system for patients with cardiac diseases should also carry out intelligent analyze, many-dimensional data analysis and prediction of cardiopacient status development. The described studies are necessary for the creation of promising medical cyber-physical systems of the following generations. They can be used to build a cyber-physical system of any type including industrial and military applications. In the future the creation and development of cyber-physical systems will follows strongly technical progress into IT- technologies. The article also describes the components of the cyber-physical system and the general structure of the smart cyber-physical monitoring system for the status of patients with cardiac diseases. The problems of the construction of cyber-physical systems are formulated and the principles of hardware-software platform construction for the creation of applied cyber-physical systems for telemedicine are proposed. The directions of research of cyber-physical systems and the expected scientific results are considered.

Надійшла до редакції 26.11.2016

